

УДК 538.975; 539.21; 539.23

DOI: 10.17223/00213411/62/9/63

С.В. ОВЧИННИКОВ, Ю.П. ПИНЖИН

ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГРАДИЕНТНЫХ И ГРАДИЕНТНО-СЛОИСТЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ti–Al–Si–Cu–N*

С использованием методик темнопольного электронно-микроскопического анализа, микрорентгеноспектрального энергодисперсионного анализа, измерения твёрдости и в скрэтч-тестах выполнено исследование изменений элементного состава, структуры и механических свойств градиентных и градиентно-слоистых покрытий системы Ti–Al–Si–Cu–N при отжигах в вакууме в диапазоне температур 973–1373 К. Установлено, что при температурах отжига до 1173 К структурные изменения – выравнивание параметра решётки нитридной фазы по толщине покрытия, падение изгиба кристаллической решётки – обусловлены диффузионным перераспределением с уменьшением величин концентраций легирующих нитрид элементов и выделением наноразмерных кристаллов меди. Для температуры отжига 1373 К найдены уменьшение изгиба кристаллической решётки нитридной фазы в несколько раз в сравнении с состоянием после осаждения, изменения концентраций элементов покрытия в десятки ат. % и формирование гетерофазной нанокристаллической структуры при их локализации на границах раздела. Установлено подобие дефектной микроструктуры внутри кристаллов обоих покрытий после отжига 1373 К. Обсуждается влияние выявленных структурно-фазовых превращений на изменение величин твёрдости и адгезионной прочности покрытий.

Ключевые слова: градиентные, градиентно-слоистые покрытия, отжиги в вакууме, электронная микроскопия, изгиб решётки, фазовые превращения, твёрдость, скрэтч.

Введение

Одним из основных направлений синтеза функциональных покрытий является формирование сложной архитектуры покрытий как градиентных, градиентно-слоистых нанокомпозитов, обеспечивающих адаптацию свойств покрытий к диапазону условий эксплуатации [1]. В этих условиях при наличии градиентов элементного, фазового состава, локальных напряжений, влияния подложки [2] формирование неравновесных и метастабильных структур будет определять свойства покрытий. Поскольку процессы релаксации неравновесных состояний характеризуются определённой энергией активации, их особенности, обусловленные многообразием фаз и термодинамикой их образования, пределами растворимости в метастабильных фазах и характеристиками микроструктуры, наиболее просто могут быть изучены в ходе термической обработки покрытий.

Формирование отмеченных состояний возможно для исследуемого в данной работе покрытия системы Ti–Al–Si–Cu–N, поскольку, во-первых, при изменении концентрации кремния можно в процессе роста измельчить структуру, сформировав, таким образом, градиентное состояние по толщине покрытия [3]. Во-вторых, метастабильная растворимость Cu, Al и Si в нитриде титана будет определять фазовые превращения и структурные характеристики в процессе отжигов [4]. В-третьих, в данной системе элементов, как и в близких по составу покрытиях [4–8], в процессе синтеза и при её насыщении кислородом в процессе отжигов возможно формирование различных нитридов, оксидов, силицидов, а также металлической медной фазы.

В этой связи целью данного исследования является определение особенностей структурно-фазовых превращений при отжигах многоэлементных покрытий с исходно различной структурой (градиентной или градиентно-слоистой), эффектов подложки и их совместного влияния на механические и адгезионные свойства покрытий. Для достижения отмеченной цели в работе выполнена аттестация элементного, фазового состава и структуры покрытий системы Ti–Al–Si–Cu–N после отжигов в вакууме при температурах 973, 1173 и 1373 К. Выбор отмеченных температур отжига определялся известными данными об особенностях структурной и фазовой релаксации при отжигах однородных покрытий. Во-первых, на примерах относительно простых (не многоэлементных, однородных по толщине) покрытий [5, 9–11] установлено, что при температурах до 973 К наблюдается релаксация остаточных макроскопических напряжений, связанная, как предполагается, с возвратом точечных дефектов. Во-вторых, в нитридных покрытиях на основе некоторых

* Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук Российской Федерации на 2013–2020 гг., направление III.23 при использовании оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования НИ ТГУ и ЦКП Нанотех ИФПМ СО РАН.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>